

WO 2004/017496 A2



*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

**(57) Abrégé :** L'invention concerne une machine électrique tournante comportant un stator entourant un rotor comportant des aimants permanents d'excitation (20, 24, 26, 30) aptes à établir des flux magnétiques, et des bobinages d'excitation (22, 28), pouvant ou non être excités et engendrer des composantes de flux pouvant s'opposer aux flux engendrés dans les aimants, dans laquelle le nombre (Na) d'aimants et le nombre (Nb) de bobinages d'excitation ainsi que la disposition des bobinages et des aimants les uns par rapport aux autres forment un motif élémentaire (me), ces nombres Na d'aimants, Nb de bobinages et Nme de motifs élémentaires étant modifiables en fonction, d'une part, d'une intensité de base (Ibase) souhaitée dans la machine, cette intensité de base étant déterminée lorsque les bobinages ne sont pas excités et, d'autre part, d'une intensité de modulation (Imod) souhaitée dans la machine, cette intensité de modulation étant déterminée lorsque les bobinages sont excités.

## **Machine électrique tournante à double excitation autorisant un défluxage modulable**

### **Domaine de l'invention**

L'invention concerne une machine électrique tournante à double  
5 excitation permettant un défluxage modulable, c'est-à-dire un contrôle de la puissance fournie par la machine non nécessairement maximale. Cette machine électrique tournante peut être un alternateur ou un altemo-

démarrreur pour véhicule automobile.  
D'une manière générale, l'invention trouve des applications dans tous  
10 les domaines nécessitant la génération d'électricité et, en particulier, dans le domaine de l'automobile pour générer l'électricité au réseau de bord des véhicules à moteur thermique ou des véhicules hybrides.

### **Etat de la technique**

Les alternateurs monophasés ou polyphasés ainsi que les altemo-  
15 démarrreurs de véhicules automobiles conventionnels comportent, tel que décrit par exemple dans le document EP-0515 259, un stator à l'intérieur duquel tourne un rotor à griffes pourvu d'un bobinage d'excitation alimenté par des balais en contact avec deux bagues collectrices prévues sur une partie en saillie de l'arbre du rotor.

20 Les balais sont reliés à un régulateur de tension pilotant la tension du bobinage d'excitation. L'alimentation électrique du bobinage d'excitation du rotor permet de magnétiser le rotor et de créer des flux magnétiques qui passent autour des brins du bobinage d'induit logés dans les encoches du corps de structure magnétique que présente le stator. Ces flux magnétiques  
25 permettent de générer un courant induit dans le bobinage induit du stator et donc une puissance électrique dans la machine. Avec un tel rotor, la puissance produite est nulle lorsque le courant électrique dans le bobinage d'excitation est nul, mais le niveau de puissance que peut fournir une telle machine est limité de par sa conception électromagnétique.

## 2

Pour améliorer l'efficacité de la machine, il est connu, par exemple par le document EP-803962, de réaliser les champs d'excitation du rotor avec des aimants permanents.

5 Cette disposition dans laquelle le rotor ne comporte que des aimants permanents pour son excitation limite la mise en œuvre de la machine car il n'est pas possible de moduler l'excitation du rotor.

Des machines électriques tournantes permettent de résoudre les problèmes des techniques évoquées précédemment. Ces machines, décrites par exemple dans le document US-A-563605, comportent des rotors  
10 comprenant à la fois des aimants permanents et des bobinages ou bobines d'excitation. Les aimant permanents sont dit surfaciques car ils sont implantés de manière circonférentielle à la périphérie externe du rotor pour produire un flux radial. On parle alors d'excitation mixte ou encore de double excitation. De tels rotors, mis en place sur des machines ayant des nombres  
15 de pôles élevés, permettent d'augmenter les rendements obtenus avec les machines précédentes. Ils permettent aussi de diminuer, voire d'annuler, le flux magnétique produit par les aimants et, par conséquent, la puissance produite par la machine. Ainsi, la machine électrique peut fournir la puissance électrique uniquement nécessaire au réseau de bord de véhicule  
20 automobile.

Dans de telles machines, le courant délivré est contrôlé, à l'aide de moyens de commutation, au niveau des bobinages d'excitation. Ces moyens de commutation permettent d'inverser sélectivement le sens de l'excitation des bobinages afin de diminuer ou d'annuler le flux des aimants. Ces  
25 moyens de commutation consistent en un pont de commutation à semi-conducteurs, appelé pont en H. Un tel pont en H présente l'inconvénient de présenter un coût élevé.

Pour résoudre ce problème de coût, une machine a été réalisée dans laquelle la puissance délivrée par la machine électrique varie en injectant  
30 dans les bobinages d'excitation du rotor à aimants permanents un courant unidirectionnel évoluant entre une valeur essentiellement nulle et une valeur

## 3

maximale qui permet de délivrer respectivement une énergie limitée et une énergie maximale. Une telle machine est décrite dans la demande de brevet EP-A-0 942 510 déposée au nom de la demanderesse.

On a représenté, aux figures 1a à 1b un mode de réalisation de rotor mixte 200 décrit dans le document EP-A-0 942 510 et comprenant à sa périphérie externe des aimants permanents surfaciques à flux radial.

Ce rotor, ici de forme annulaire, comporte douze pôles 1 à 12, dont trois pôles à aimants permanents 1, 5 et 9, trois pôles à bobinages ou bobines d'excitation 3, 7 et 11 et six pôles à réluctance 2, 4, 6, 8, 10 et 12. Les pôles à réluctance sont les pôles intermédiaires par lesquels circulent les flux magnétiques émis par les aimants et/ou les pôles à bobinage d'excitation. Ces pôles à bobinages d'excitation sont délimités chacun par deux encoches dans chacune desquelles est logé un fil, par exemple un fil de cuivre, bobiné autour du pôle concerné pour formation du bobinage d'excitation avec interposition d'un isolant. Ces pôles saillants comportent ici chacun à leur périphérie externe une tête élargie pour formation d'épaulements de retenue du bobinage d'excitation associé. Les pôles à aimants permanents sont délimités circonférentiellement à chacune de leurs extrémités circonférentielles par une encoche vide peu profonde. Les pôles à aimants permanents comportent chacun au moins un logement circonférentiellement de forme oblongue pour le montage d'un aimant permanent. De manière précitée les aimants sont surfaciques et sont implantés au voisinage de la périphérie externe du rotor pour produire un flux magnétique radial.

Les pôles à réluctance présentent avantageusement chacun à leur périphérie externe une saillie circonférentielle dirigée vers le pôle à bobinage d'excitation adjacent pour retenir radialement le bobinage d'excitation.

Deux pôles à réluctance sont implantés de part et d'autre d'un pôle à aimant permanent, tandis qu'un pôle à bobinage d'excitation est implanté entre deux pôles consécutifs à réluctance.

Par simplicité les pôles à bobinage d'excitation seront appelés ci-

après également pôles bobinés et les pôles à aimants permanents pôles à aimants.

Lorsqu'ils ne sont pas excités ou activés par passage d'un courant électrique, les pôles bobinés réagissent comme des pôles à réluctance, c'est-à-dire qu'ils n'ont aucun effet sur le sens du flux magnétique émis par les aimants permanents. Dans ce cas, les polarités magnétiques observées dans le rotor sont celles notées sur la figure 1a, à savoir S (Sud) pour les pôles à aimants et N (Nord) pour les autres pôles. On obtient ainsi, lorsque les bobinages de la machine ne sont pas excités, des motifs appelés motifs élémentaires qui sont SNNN SNNN SNNN pour une machine à 12 pôles. Ainsi lorsque la machine n'est pas excitée, chaque aimant produit deux flux magnétiques F3 qui se répartissent chacun en deux flux magnétiques F1 et F2 vers, d'une part, les pôles à réluctance 2, 4, 6, 8, 10 et 12 et d'autre part, vers les pôles bobinés 3 – 7 et 11 non excités et se comportant comme des pôles à réluctance.

En se reportant au document EP 0942 510 précité, on notera que la machine électrique tournante comporte un stator polyphasé doté d'un corps en matériau magnétique, appelé également carcasse, doté d'encoches, de préférence semi-fermées à la périphérie interne du stator, qui reçoivent les brins des bobinages d'induit que comporte le stator.

Ces encoches sont séparées les unes des autres par des dents, appelées également pôles. Les flux F1 à F3 précités passent par les dents du stator, un faible entrefer existant entre le stator et le rotor.

Lorsque les bobines ou bobinages d'excitation, dits par simplicité aussi bobinages, sont excités, figure 1b, alors ils engendrent chacun un flux magnétique FD, qui s'oppose à la propagation des flux magnétiques F2 des aimants vers les pôles bobinés qui sont situés entre les deux brins d'un même bobinage, tandis que ce flux magnétique FD, créé par les bobinages renforce au contraire le flux F1 qui va se diriger de chaque aimant vers chacun des pôles à réluctance qui encadrent chaque pôle bobiné ou à aimant. On comprend ainsi que, lorsque les bobinages sont activés par

passage d'un courant électrique, ils présentent un pôle Sud alors qu'ils présentaient un pôle Nord lorsqu'ils n'étaient pas excités et inversement. Les pôles du rotor vont donc adopter une configuration magnétique NSNSNSNSNSNS qui permet d'assurer un transfert d'énergie vers le stator  
5 qui croît progressivement avec le courant d'excitation dans les bobinages.

Dans cette machine, comme dans toutes les machines à double excitation actuellement connues, le calibrage est déterminé en fonction des aimants et, plus précisément, de la taille, du type, du nombre et de l'emplacement des aimants dans la machine. Le calibrage (appelé lbase plus  
10 loin) est le niveau de la puissance de base que peut fournir la machine uniquement avec les aimants permanents, c'est-à-dire lorsque les bobinages ne sont pas excités. Une telle machine peut fournir, par exemple, en mode alternateur, une intensité de base de 45 ampères.

Lorsque les bobinages sont activés ou excités par le passage d'un  
15 courant électrique, alors la puissance électrique totale fournie par la machine augmente par rapport à la puissance fournie par les aimants seuls. Si les aimants fournissent seuls, par exemple une intensité de 45 ampères, alors l'intensité totale fournie par la machine sera par exemple de 90 ampères.

Cette caractéristique qui consiste à pouvoir contrôler la puissance  
20 fournie par la machine, s'appelle le défluxage. Ce défluxage peut être contrôlé en fonction de la vitesse de rotation du rotor. Dans les machines qui viennent d'être décrites, le flux magnétique produit au niveau du rotor peut soit être diminué nettement, soit être annulé complètement, selon les valeurs et sens des courants fournis aux bobinages d'excitation du rotor. Lorsque le  
25 défluxage permet d'accroître la puissance fournie par la machine par rapport à puissance fournie uniquement avec les aimants seuls, alors on parlera d'un défluxage positif. Dans le cas contraire, on parlera d'un défluxage négatif.

Ces machines peuvent donc produire une puissance pouvant varier entre une puissance de base, produite par les aimants seuls et une  
30 puissance maximum produite par les aimants et les bobinages.

Lorsque qu'une machine possède un dispositif tel qu'un pont en H

précité pour inverser le courant d'excitation des bobines du rotors, alors la puissance produite peut varier entre une valeur nulle ou quasiment nulle et une valeur maximum, c'est deux valeurs étant situées de part et d'autre de la puissance de base produite par les aimants seuls.

5           Cependant, en fonction des applications, il est intéressant de pouvoir disposer de différentes structures dont la puissance de base produite par les aimants seuls soit modulable.

10           Ainsi, pour effectuer un bon calibrage de la machine, le choix du nombre des aimants devient un critère important pour pouvoir fournir la puissance de base dont a besoin l'application, à la vitesse de rotation moyenne de la machine souhaitée, sans injecter de courant dans les bobines d'excitation afin d'optimiser le rendement.

### **Exposé de l'invention**

15           L'invention a justement pour but de remédier, de manière simple et économique, aux problèmes décrits précédemment.

          Un but de l'invention est de proposer des structures de rotor à double excitation dont la puissance de base produite soit modulable.

20           Pour cela, le rotor comporte des pôles à aimants permanents et des pôles à bobinages d'excitation, placés de façon à réaliser un motif élémentaire particulier pouvant être reproduit plusieurs fois sur le rotor. En d'autres termes, dans l'invention, le nombre d'aimants et le nombre de bobinages d'excitation ainsi que leurs emplacements respectifs et le nombre de motifs élémentaires sont modifiables en fonction de la puissance de base souhaitée dans la machine.

25           De façon plus précise, l'invention concerne une machine électrique tournante comportant un rotor présentant un corps en matériau magnétique, un stator entourant le rotor, le stator comportant au moins un bobinage d'induit, logé dans des encoches réalisées dans le corps magnétique que présente le stator, et le rotor étant doté de moyens pour sélectivement établir  
30           des circuits magnétiques fermés passant autour du bobinage d'induit, ces

moyens comportant :

- des aimants permanents d'excitation aptes à établir des flux magnétiques ayant, selon la direction de déplacement du rotor, des composantes de sens opposés, et

- 5           - des bobinages d'excitation logés dans des encoches du rotor, adaptés à être excités et à engendrer des composantes de flux magnétique s'opposant aux flux magnétiques engendrés dans les aimants.

La machine de l'invention se caractérise par le fait que le nombre ( $N_a$ ) d'aimants permanents et le nombre ( $N_b$ ) de bobinages d'excitation ainsi que  
10 la disposition des bobinages et des aimants les uns par rapport aux autres forment un motif élémentaire, ce motif élémentaire pouvant être répété un nombre ( $N_{me}$ ) de fois, ces nombres  $N_a$  d'aimants,  $N_b$  de bobinages et  $N_{me}$  de motifs élémentaires étant modifiables en fonction, d'une part, d'une intensité de base souhaitée dans la machine, cette intensité de base étant  
15 déterminée lorsque les bobinages ne sont pas excités et, d'autre part, d'une intensité de modulation souhaitée dans la machine, cette intensité de modulation étant déterminée lorsque les bobinages sont excités.

Des aspects préférés, mais non limitatifs, de la machine selon l'invention sont les suivants :

- 20           -  $N_a$  est plus grand ou égal à 1,  $N_b$  est plus grand ou égal à 1,  $N_{me}$  est plus grand ou égal à 1 et le couple de nombre  $N_a$ ,  $N_b$  est différent de 1,1.
- les aimants  $N_a$  d'un même motif élémentaire sont agencés pour générer un flux magnétique radial.
  - les aimants d'un même motif élémentaire sont de même polarité.
  - 25           - les pôles bobinés d'un même motif élémentaire sont de même polarité.
  - au sein d'un motif élémentaire, au moins deux aimants consécutifs sont séparés par au moins un pôle à reluctance.
  - au sein d'un motif élémentaire, au moins deux pôles bobinés consécutifs sont séparés par au moins un pôle à reluctance.
  - 30           - au sein d'un motif élémentaire, au moins un pôle bobiné et un aimant



consécutifs sont séparés par au moins un pôle à reluctance.

- les brins de bobinage d'une bobine appartenant à un motif élémentaire sont reçus dans deux encoches adjacentes situées entre deux aimants consécutifs.

- 5           - plusieurs motifs élémentaires sont associés les uns aux autres.
- les motifs élémentaires sont différents.
  - entre au moins deux motifs élémentaires consécutifs, on insère une succession d'au moins un couple de pôles Nord-Sud ou Sud-Nord créés par au moins un aimant.

- 10           - au moins un aimant intercalé entre deux motifs élémentaires consécutifs est de polarité différente du au moins un aimant appartenant à au moins un motif élémentaire.

- les Nb bobinages ne sont pas tous excités simultanément.

- l'intensité de modulation ( $I_{mod}$ ) est comprise dans un intervalle entre

- 15 - $I_b$  et  $+I_b$ , où  $I_b$  est l'intensité maximale magnétique fournie par les Nb bobinages.

- il subsiste un flux magnétique résiduel ( $F_r$ ) provenant des aimants non soumis à l'influence du flux magnétique ( $F_d$ ) de défluxage produit par les bobines d'excitation.

## 20           **Brève description des figures**

- les figures 1a à 1b, déjà décrites, sont des vues schématiques en coupe transversale d'un exemple d'une machine à douze pôles selon l'art *antérieur respectivement* dans un état de non excitation des bobinages d'excitation et dans un état d'excitation des bobinages.

- 25           - la figure 2 est une vue schématique en coupe transversale d'un premier exemple de réalisation d'une machine à douze pôles selon *l'invention*.

- la figure 3 est une vue analogue à la figure 2 pour un second exemple de réalisation d'une machine à douze pôles selon *l'invention*.

- 30           - la figure 4 illustre schématiquement sous forme développée une

variante de réalisation de l'invention de la partie rotor d'une machine selon la figure 2.

- la figure 5 illustre schématiquement sous forme développée une variante de réalisation de l'invention de la partie rotor d'une machine selon la figure 3.

### **Description détaillée de modes préférentiels de réalisation de l'invention**

Dans les figures 2 à 5 N et S sont utilisés, comme dans les figures 1a et 1b, pour désigner respectivement un pôle Nord et un pôle Sud.

- 10 L'invention concerne une machine électrique tournante à double excitation, dans laquelle il est possible de moduler la puissance de base émise par les aimants seuls ainsi que le défluxage.

- 15 La puissance de base est fournie par les aimants permanents seuls, c'est-à-dire lorsque les bobines d'excitation ou bobinages d'excitation ne sont pas alimentés électriquement. Cette puissance de base correspond au calibrage de la machine. Elle dépend du nombre d'aimants dans la machine et aussi du positionnement des aimants dans le rotor (radial, orthoradial, etc.).

- 20 L'invention propose de moduler la puissance de base en jouant sur le nombre  $N_a$  d'aimants, le nombre  $N_b$  de bobinages et un nombre  $N_{me}$  de motifs élémentaires. De préférence  $N_a$  est plus grand ou égal à 1,  $N_b$  est plus grand ou égal à 1,  $N_{me}$  est plus grand ou égal à 1 et le couple de nombre  $N_a$ ,  $N_b$  est différent de 1,1. Un motif élémentaire est un ensemble d'aimants et de bobinages associés avec un ordre particulier et répartis sur la totalité ou sur une partie du contour du rotor. Un motif élémentaire peut être répétitif, c'est-à-dire qu'il peut être associé à un ou plusieurs autres motifs élémentaires identiques. Un motif élémentaire peut aussi être associé à un ou plusieurs autres motifs élémentaires différents.

La puissance de base, dite  $I_{base}$ , varie en fonction du nombre

## 10

d'aimants  $N_a$  dans chaque motif élémentaire et du nombre  $N_{me}$  de motifs élémentaires sur le contour du rotor. Ainsi, en modulant le nombre d'aimants dans un motif élémentaire et en modulant le nombre de motifs élémentaires, il est possible de faire varier l'intensité de base de la machine.

5           La puissance de modulation, dite  $I_{mod}$ , dépend du nombre de bobinages  $N_b$  et du nombre  $N_{me}$  de motifs élémentaires présents sur le contour du rotor. Ainsi, en modulant le nombre de bobinages dans un motif élémentaire et en modulant le nombre de motifs élémentaires, il est possible de faire varier l'intensité de modulation de la machine. On comprend ainsi  
10       que plus le nombre de pôles du rotor est important, plus il y a de motifs élémentaires possibles et donc plus il y a de valeurs possibles pour l'intensité de base et l'intensité de modulation.

          Il est possible, selon l'invention d'associer plusieurs motifs élémentaires les uns aux autres, c'est-à-dire de placer plusieurs motifs  
15       élémentaires différents, ou semblables, les uns à côté des autres sur le contour du rotor. Ainsi selon l'invention, la configuration du rotor sera telle que le défluxage négatif ou positif réalisé par les pôles bobinés, ou pôles à bobinages d'excitation, sera partiel ou total.

          Sur la figure 2, on a représenté un exemple de rotor selon l'invention.  
20       *Ce rotor comporte douze pôles répartis selon deux motifs élémentaires, chaque motif élémentaire comportant deux pôles à aimants et un pôle bobiné. Au centre du rotor, on a représenté l'arbre de rotation 15 dont est solidaire le rotor présentant à cet effet un corps en matériau magnétique solidaire de cet arbre.*

25           Dans cet exemple, le rotor comporte deux motifs élémentaires  $me_1$  et  $me_2$  identiques. En d'autres termes,  $N_{me} = 2$ .

          Les motifs élémentaires  $me_1$  et  $me_2$  comportent un premier pôle à aimant permanent 30, 24 suivi d'un premier pôle à réluctance 31, 25, d'un second pôle à aimant 20, 26, d'un second pôle à réluctance 21, 27 d'un  
30       pôle bobiné 22, 28 et enfin d'un troisième pôle à réluctance 23, 29. On a donc  $N_a = 2$  et  $N_b = 1$ . Ainsi au sein d'un motif élémentaire, deux aimants

consécutifs sont séparés par au moins un pôle à réluctance. De même au sein d'un motif élémentaire, un pôle bobiné et un pôle à aimants sont séparés par au moins un pôle à réluctance.

Les premiers et les seconds pôles à aimants sont ici identiques et  
5 semblables aux pôles 1 de la figure 1a.

Les seconds et troisièmes pôles à réluctance sont semblables aux pôles 2 et 4 de la figure 1a en sorte que le pôle bobiné est semblable à celui de cette figure 1a.

Le premier pôle à réluctance est délimité à sa périphérie externe  
10 circonférentiellement par deux encoches vides peu profondes du type de celles de la figure 1a.

Les aimants sont donc orientés de façon à fournir ici une polarité radiale Nord. Lorsque les bobinages ne sont pas excités ou activés, les polarités du motif élémentaire sont : NSNSSS. Lorsque les bobinages sont  
15 excités positivement, on obtient alors la succession de pôles magnétiques suivante : NSNSNS, le pôle bobiné passant d'une polarité Sud à une polarité Nord. Dans ce cas, le défluxage est positif et la puissance fournie est supérieure à la puissance de base fournie par les aimants seuls. Dans cet exemple, les deux motifs  $me_1$  et  $me_2$  sont identiques, placés  
20 circonférentiellement à la suite l'un de l'autre.

La figure 2 représente un premier exemple de réalisation de l'invention en mode défluxage négatif et dans lequel les bobinages sont activés par un courant d'excitation circulant en sens inverse. Ainsi, les pôles bobinés restent des pôles Sud et génèrent un flux magnétique  $F_d$  de défluxage qui annule  
25 une partie du flux ( $F_s$ ) émis par les aimants les plus proches de ce pôle bobiné.

Toutefois, ces pôles bobinés ne peuvent supprimer une autre partie du flux ( $F_r$ ) de ces mêmes aimants les plus proches des premiers pôles à réluctance 25, 31. Le défluxage négatif ne sera pas total, mais la puissance  
30 résiduelle sera tout de même nettement inférieure à celle obtenue en l'absence d'alimentation des bobines d'excitation.

## 12

Ainsi selon ce premier mode de réalisation, on obtient défluxage négatif partiel du rotor. En effet, certains aimants ne peuvent être défluxés par aucune des bobines d'excitation du rotor alimentées en inverse à cause notamment de leur éloignement. Ces aimants lointains ne peuvent être atteints par les pôles bobinés, ou partiellement atteints en sorte qu'il subsiste un flux magnétique résiduel  $F_r$  plus faible que le flux de base émis par la totalité des aimants en l'absence d'excitation.

Une telle machine ne réalisera pas un défluxage négatif total par l'intermédiaire des bobines d'excitation et trouvera avantageusement des applications dans lesquelles on utilise très souvent environ 2/3 de la puissance maximale de la machine correspondant à une excitation quasi nulle pour cette puissance.

Sur la figure 3, on a représenté un second exemple d'un rotor selon l'invention. Ce rotor comporte douze pôles répartis en deux motifs élémentaires identiques  $me_3$  et  $me_4$ , comprenant chacun un pôle à aimant et deux pôles bobinés. Ainsi, dans cet exemple, on a  $N_a = 1$ ,  $N_b = 2$  et  $N_{me} = 2$ . Les motifs élémentaires  $me_3$  et  $me_4$  comportent d'abord un pôle à aimant 40, 46 suivi d'un premier pôle à réluctance 41, 47, puis d'un premier pôle bobiné 42, 48, d'un second pôle à réluctance 43, 49, d'un second pôle bobiné 44, 50 et d'un troisième pôle à réluctance 45, 51. Ainsi au sein d'un motif élémentaire, deux pôles bobinés sont séparés par au moins un pôle à réluctance. De même au sein d'un motif élémentaire, un pôle bobiné et un pôle à aimants sont séparés par au moins un pôle à réluctance.

Les pôles 40, 46 sont semblables aux pôles 20, 30, 34, 26 de la figure 2, tandis que les pôles à réluctance sont semblables à ceux de la figure 1a.

Lorsque les bobinages ne sont pas excités, les polarités du motif élémentaire sont : NSSSSS-NSSSSS pour un rotor à 12 pôles. Lorsque tous les bobinages sont activés positivement, les polarités deviennent : NSNSNS et la machine fournit une puissance supérieure à la puissance de base fournie par les aimants seuls.

Dans cet exemple, le nombre d'aimants  $N_a$  est inférieur au nombre de

bobinages Nb.

En mode défluxage négatif, lorsque le courant d'activation des pôles bobinés est inversé, la configuration du rotor devient N0SNS0- N0SNS0 car sous l'influence des pôles bobinés en inverse :

- 5       - les pôles à réluctance 43 et 49 de la figure 3 s'inversent,
- les pôles à réluctance 51 – 41 – 45 et 47 ne sont plus magnétiquement opérationnels.

10       Cet exemple de réalisation illustre un autre moyen de réaliser un défluxage négatif partiel alors que tous les aimants peuvent être soumis complètement au flux magnétique des pôles bobinés.

Comme expliqué précédemment, il est possible, dans certaines applications, de combiner plusieurs motifs élémentaires ensemble. Il est possible, par exemple, de placer me1 et me3 des figures 2 et 3 côte-à-côte sur le contour du rotor.

15       Dans les exemples des figures 2 et 3, les aimants fournissent une polarité Nord matérialisée par une flèche au sein de l'aimant en sorte que le flux magnétique est dirigé radialement vers la périphérie externe du rotor. Toutes les polarités de ces deux exemples peuvent être inversées en modifiant le sens des aimants de façon à ce qu'ils aient une polarité Sud  
20       comme dans les figures 1a et 1 b.

En modulant le nombre de pôles sur le rotor, on peut modifier la vitesse d'amorçage et en modulant les nombres Na d'aimants, Nb de bobinages et Nme de motifs, on contrôle le défluxage du rotor.

25       *Toutes ces modulations peuvent être faites en fonction de critères* prédéfinis comme le type de moteur à alimenter, le nombre d'équipements électriques et de consommateurs électriques du véhicule, les sécurités désirées (non surchauffe de la batterie, etc.).

30       *Ces modulations peuvent aussi être faites en fonction de* l'encombrement du rotor. En effet, dans certains cas où l'encombrement du rotor est limité, il n'est pas possible d'avoir, par exemple, seize pôles mais uniquement douze voire moins ; dans ce cas il est intéressant d'avoir plus

## 14

d'aimants que de bobinages ou une répartition particulière des aimants et des bobinages, car un bobinage prend plus de place qu'un aimant. Par contre, un aimant a un coût de revient plus élevé qu'un bobinage. Par conséquent, plus l'on met d'aimants dans un motif élémentaire et plus le rotor a un coût de revient élevé.

Avantageusement, pour obtenir un défluxage plus précis on n'alimente pas simultanément tous les bobinages appartenant à un même motif élémentaire tel que représenté par exemple à la figure 3. En particulier, on alimente un bobinage sur deux. Ainsi, il est possible d'ajuster le défluxage négatif ou positif à l'application, ce défluxage pouvant être total ou partiel. Selon une autre variante, on peut aussi envisager de n'activer que les bobinages d'excitation n'appartenant qu'à une partie des motifs élémentaires du rotor.

Selon un autre mode de réalisation, entre deux motifs élémentaires consécutifs on insère une succession de pôles magnétique N-S ou S-N créés par au moins un aimant par exemple a effet radial comme représenté aux figure 4 et 5.

Ainsi, la figure 4 illustre une variante de la figure 2 dans laquelle entre les motifs élémentaires me1 et me2, constitués respectivement par les pôles 1 à 6 et 9 à 16, on a inséré deux pôles Sud-Nord au niveau des pôles 7,8 et 15,16. Ainsi en ajoutant deux aimants supplémentaires, on peut passer aisément d'un rotor comportant 12 pôles à un rotor comportant 16 pôles. Ces deux aimants supplémentaires permettent d'ajuster la puissance de base sans excitation de la machine tout en préservant ces capacités de défluxage positives et négatives. Bien évidemment, les pôles magnétiques ajoutés entre deux motifs élémentaires doivent s'agencer avantageusement de manière à obtenir une succession de pôles NSNSNS... lorsque le courant d'excitation est positif de manière à obtenir en sortie une puissance maximum.

De la même manière, la figure 5 illustre un autre exemple de réalisation de la variante réalisée à partir du mode de réalisation de la figure 3. Ainsi, on a intercalé entre les deux motifs élémentaires me3 et me4, aux

## 15

pôles 7 et 8 et 15 et 16, deux pôles magnétiques Nord-Sud. Comme visible à la figure 5, ces aimants intercalés entre deux motifs élémentaires peuvent être de polarité différente aux aimants appartenant aux motifs élémentaires. Deux même, les aimants intercalés entre les motifs élémentaires peuvent  
5 être également de polarités inverses.

On peut également envisager d'intercaler des pôles Nord-Sud supplémentaires seulement entre certains motifs élémentaires. De même, plusieurs pôles Nord-Sud intercalés peuvent être contigus. Ainsi, un rotor à excitation mixte peut comporter entre au moins un motif élémentaire au  
10 moins un pôles Nord-Sud réalisé par au moins un aimant dont la polarité et sa position permet avantageusement à la machine électrique de produire une puissance maximum lors d'un défluxage positif.

Comme visible à la figure 5 au niveau des pôles 15 et 16, et applicable à tout autre agencement de motifs élémentaires, un pôle Nord-  
15 Sud intercalé entre au moins un motif élémentaire peut être constitué par deux aimants contigus de polarité inverses. Cet agencement constitue une variante des pôles nord-sud intercalés précédemment décrits constitués par un pôle à aimant et un pole à reluctance

Ainsi qu'il ressort à l'évidence de la description, le rotor 200 comporte  
20 un corps en matériau magnétique doté, d'une part, d'encoches pour logement des bobinages d'excitation et, d'autre part, de logements pour le montage des aimants permanents. Les encoches sont groupées par paire pour délimiter les pôles saillants 22, 28, 42,43, 44,48, 49, 50 autour desquels sont bobinés des fils électriques, par exemple en cuivre, pour formation des  
25 bobinages d'excitation.

Par exemple le corps du rotor est réalisé sous la forme d'un paquet de tôles trouées centralement pour montage à force sur l'arbre 15  
avantageusement moleté à cet effet. Les encoches et les logements précités sont donc aisément réalisés par découpe. Des passages sont réalisés en  
30 dessous d'au moins un aimant (figures 2 et 3) pour passage d'organes d'assemblage, tels que des tirants, des tôles.



Les bobinages d'excitation ont axialement une forme oblongue.

On notera la présence d'ouvertures (non référencées) au voisinage de l'arbre 15 (figures 2 et 3) pour canaliser les flux magnétiques et former des circuits magnétiques fermés circulants également dans le stator de la machine décrit ci-après.

Ici, les logements des aimants s'étendent à la périphérie externe du rotor et ont globalement une section une forme rectangulaire dont les longueurs sont perpendiculaires à un rayon du rotor. Les aimants ont avantageusement une forme complémentaire à leurs logements en étant, de manière précitée, surfaciques pour engendrer des flux magnétiques radiaux.

Bien entendu on peut prévoir d'autres agencements pour créer des flux magnétiques radiaux.

Comme visible partiellement à la figure 4, la machine électrique tournante comporte, de manière précitée, un stator 100 entourant au moins en partie le rotor 200 et doté d'un corps 101 en matériau magnétique, par exemple sous la forme d'un paquet de tôles. Ce stator 100 est avantageusement polyphasé et comporte donc des bobinages d'induit 103 montés dans des encoches 102 réalisées dans son corps 101. Les encoches 102 sont délimitées par des dents 104 qui reçoivent le flux magnétique émit par le rotor et qui passe par un faible entrefer de forme annulaire présent entre la périphérie externe du rotor et la périphérie interne du stator. C'est pour cette raison que l'on a représenté par des boucles les flux magnétiques.

Les aimants permanents consistent par exemple en des ferrites ou en des terres rares ou en une combinaison des deux.

La machine électrique est dans une forme de réalisation un alternateur de véhicule automobile permettant de transformer de l'énergie mécanique en énergie électrique, son stator étant un stator induit et le rotor un rotor inducteur. En variante, de manière connue, l'alternateur est réversible et est donc configuré pour constituer un moteur électrique permettant notamment de démarrer le moteur thermique du véhicule automobile. Ce type d'alternateur est appelé alterno-démarrreur.

**REVENDICATIONS**

- 1 - Machine électrique tournante comportant un rotor présentant un corps en matériaux magnétique, un stator entourant le rotor, le stator  
5 comportant au moins un bobinage d'induit, et le rotor comportant des encoches formées dans son corps et des moyens pour sélectivement établir des circuits magnétiques fermés passant autour du bobinage d'induit du stator, ces moyens comprenant :
- des aimants permanents d'excitation (20, 24, 26, 30, 40, 46) aptes à  
10 engendrer des flux magnétiques,
  - des bobinages d'excitation (22, 28, 42, 44, 48, 50) logés dans les encoches du rotor pour définir des pôles bobinés, les dits bobinages étant adaptés à être excités et engendrer des composantes de flux magnétique s'opposant aux flux engendrés par certains au moins des aimants pour créer  
15 un défluxage,
- caractérisée en ce que le nombre  $N_a$  d'aimants et le nombre  $N_b$  de bobinages d'excitation ainsi que la disposition des bobinages et des aimants les uns par rapport aux autres forment un motif élémentaire (me), ce motif élémentaire étant apte à être répété un nombre  $N_{me}$  de fois.
- 20 2 - Machine électrique tournante selon la revendication 1, caractérisée en ce que  $N_a$  est plus grand ou égal à 1, en ce que  $N_b$  est plus grand ou égal à 1, en ce que  $N_{me}$  est plus grand ou égal à 1 et en ce que le couple de nombre  $N_a$ ,  $N_b$  est différent de 1,1.
- 3 - Machine électrique tournante selon la revendication 1, caractérisée  
25 en ce que les aimants  $N_a$  d'un même motif élémentaire sont agencés pour générer un flux magnétique radial.
- 4 - Machine électrique tournante selon la revendication 3, caractérisée en ce que les aimants d'un même motif élémentaire sont de même polarité.
- 5 - Machine électrique tournante selon la revendication 1, caractérisée  
30 en ce que les pôles bobinés d'un même motif élémentaire sont de même polarité.

6 - Machine électrique tournante selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comporte, au sein d'un motif élémentaire, au moins deux aimants consécutifs séparés par au moins un pôle à reluctance.

5 7 - Machine électrique tournante selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comporte, au sein d'un motif élémentaire, au moins deux pôles bobinés consécutifs séparés par au moins un pôle à reluctance.

8 - Machine électrique tournante selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comporte, au sein d'un motif élémentaire, au moins un pôle bobiné et un aimant consécutifs séparés par au moins un pôle à reluctance.

10 9 - Machine électrique tournante selon la revendication 1, caractérisée en ce que les brins de bobinage d'une bobine appartenant à un motif élémentaire sont reçus dans deux encoches adjacentes situées entre deux aimants consécutifs.

15 10 - Machine électrique tournante selon la revendication 1, caractérisée en ce que plusieurs motifs élémentaires sont associés les uns aux autres.

11 - Machine électrique tournante selon la revendication 10, caractérisée en ce que les motifs élémentaires sont différents.

20 12 - Machine électrique tournante selon la revendication 10, caractérisée en ce qu'elle comporte, entre au moins deux motifs élémentaires consécutifs, une succession d'au moins un couple de pôles Nord-Sud ou Sud-Nord créés par au moins un aimant.

25 13 - Machine électrique tournante selon la revendication 12, caractérisée en ce qu'au moins un aimant intercalé entre deux motifs élémentaires consécutifs est de polarité différente du au moins un aimant appartenant à au moins un motif élémentaire.

13 - Machine électrique tournante selon la revendication 1, caractérisée en ce que les Nb bobinages ne sont pas tous excités simultanément.

30 14 - Machine électrique tournante selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'intensité de modulation ( $I_{mod}$ ) est comprise dans un

## 19

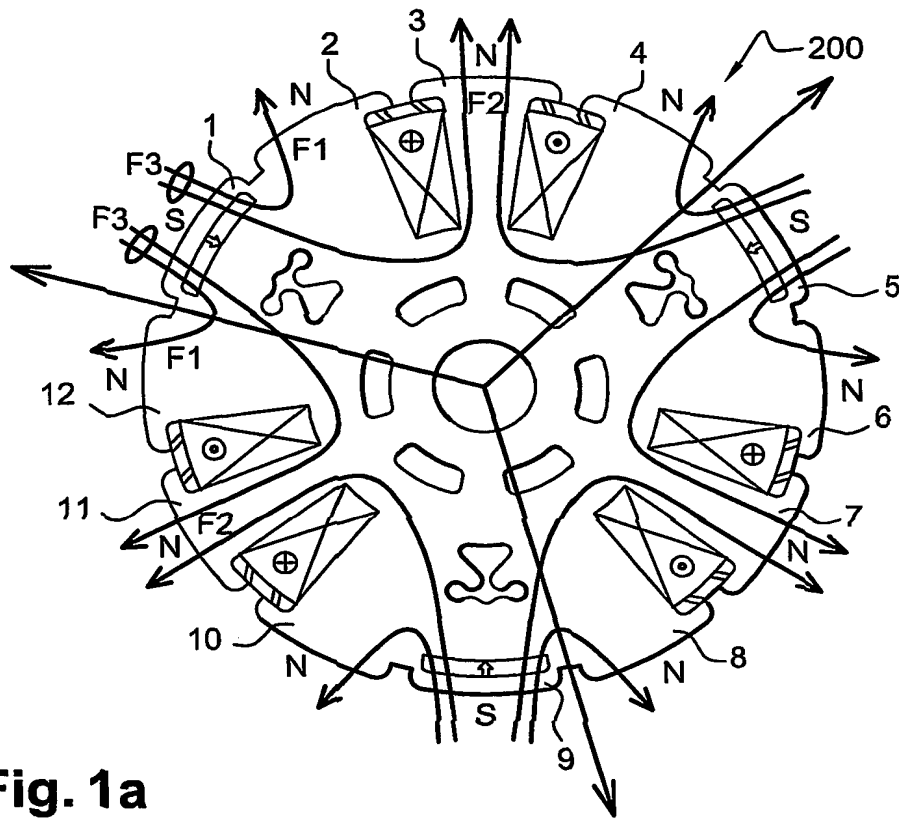
intervalle entre  $-I_b$  et  $+I_b$ , où  $I_b$  est l'intensité maximale du flux magnétique fournie par les  $N_b$  bobinages.

15 - Machine électrique tournante selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'il subsiste un flux magnétique résiduel ( $F_r$ ) provenant  
5 des aimants non soumis à l'influence du flux magnétique ( $F_d$ ) de défluxage produit par les bobines d'excitation.

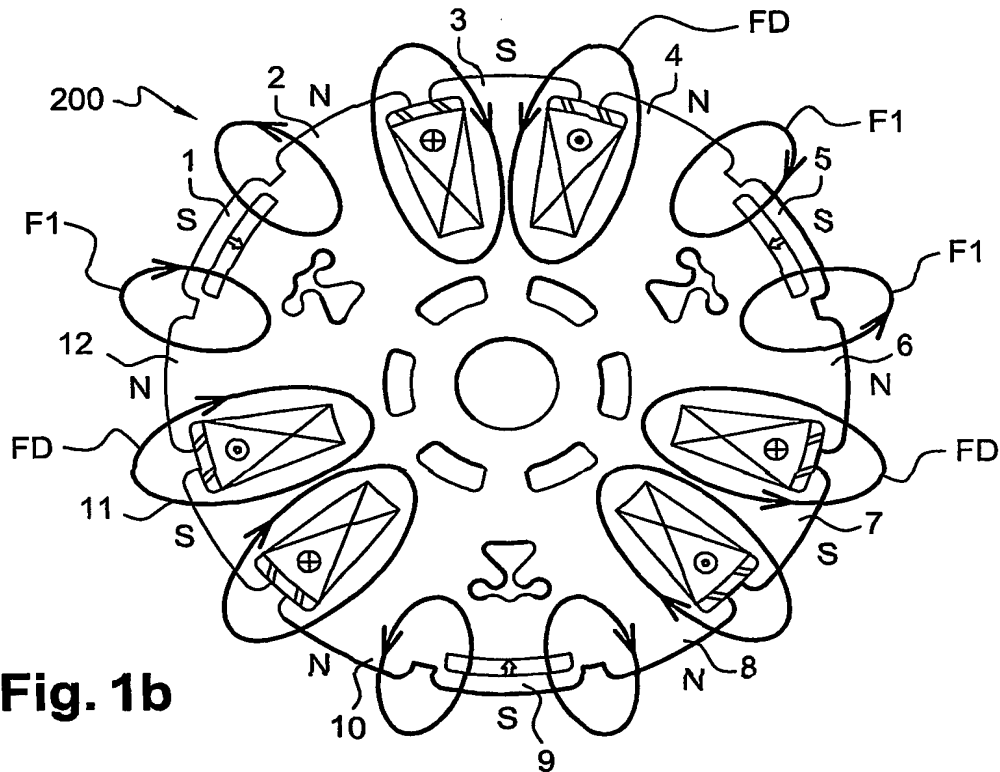
16 - Machine électrique tournante selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle consiste en un alternateur de véhicule automobile.

17 - Machine électrique tournante selon la revendication 1,  
10 caractérisée en ce qu'elle consiste en un alerno-démarrreur de véhicule automobile.

1/3

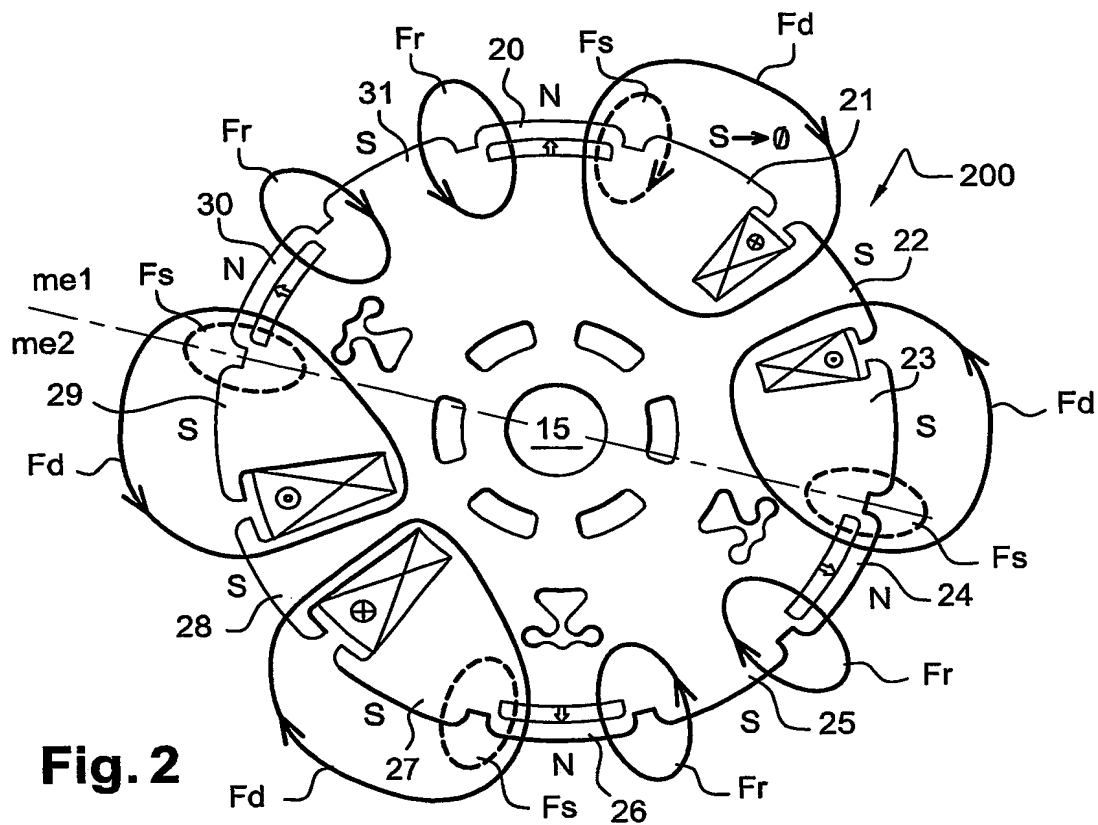


**Fig. 1a**

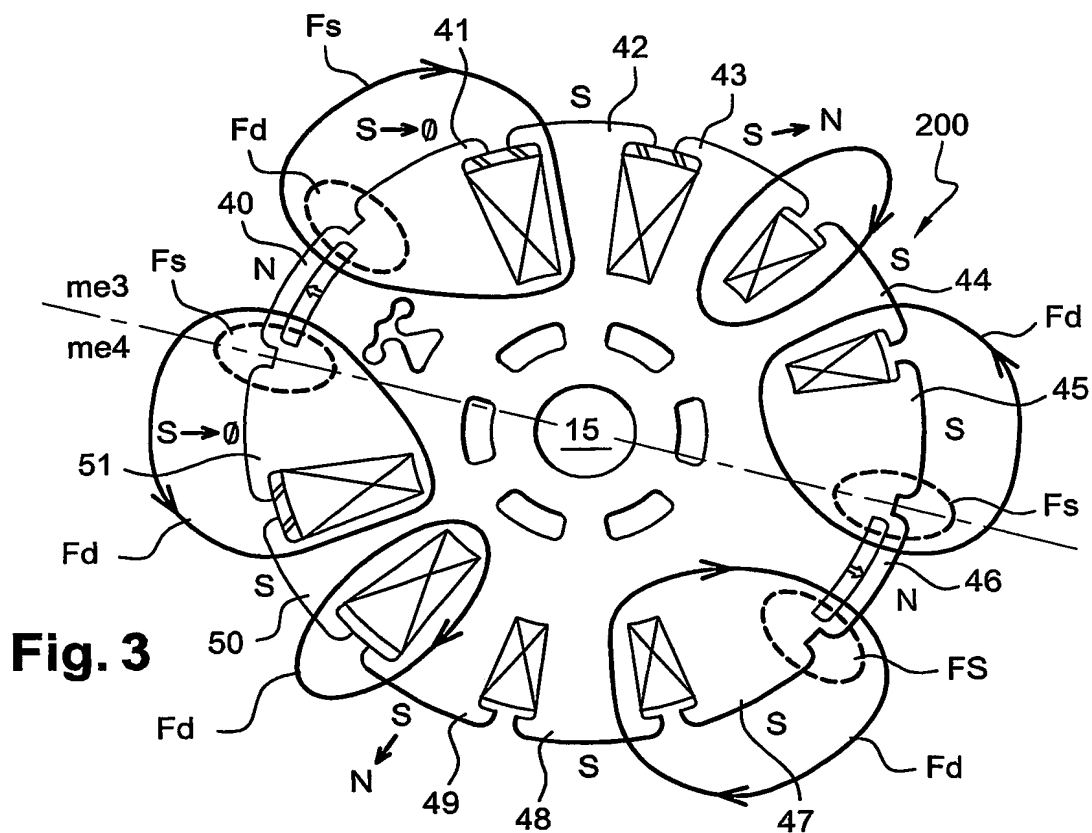


**Fig. 1b**

2 / 3



**Fig. 2**



**Fig. 3**

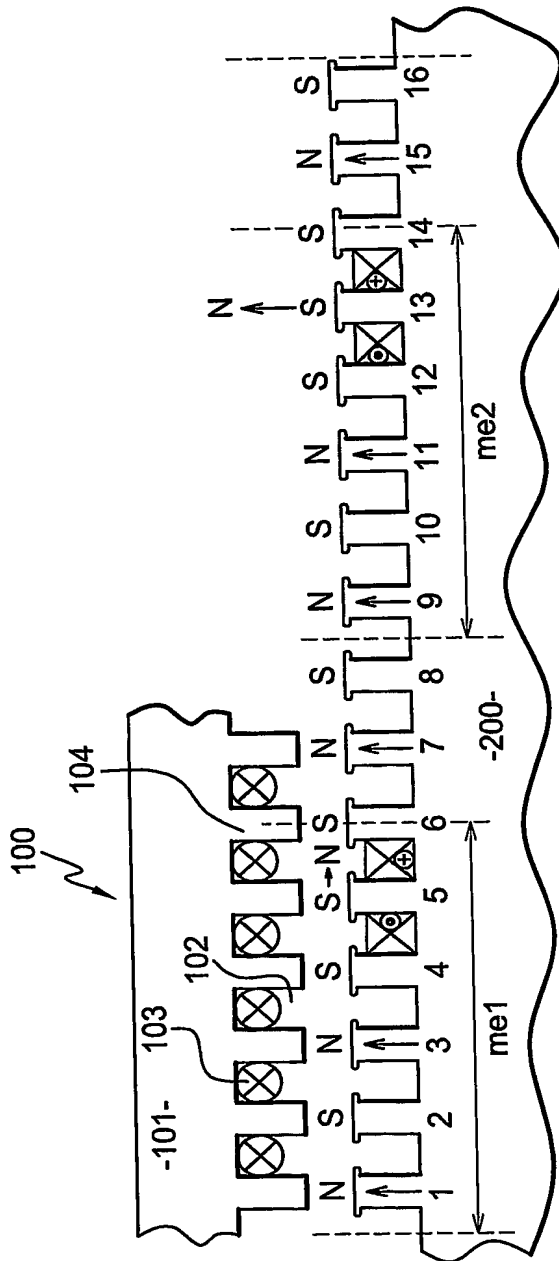


Fig. 4

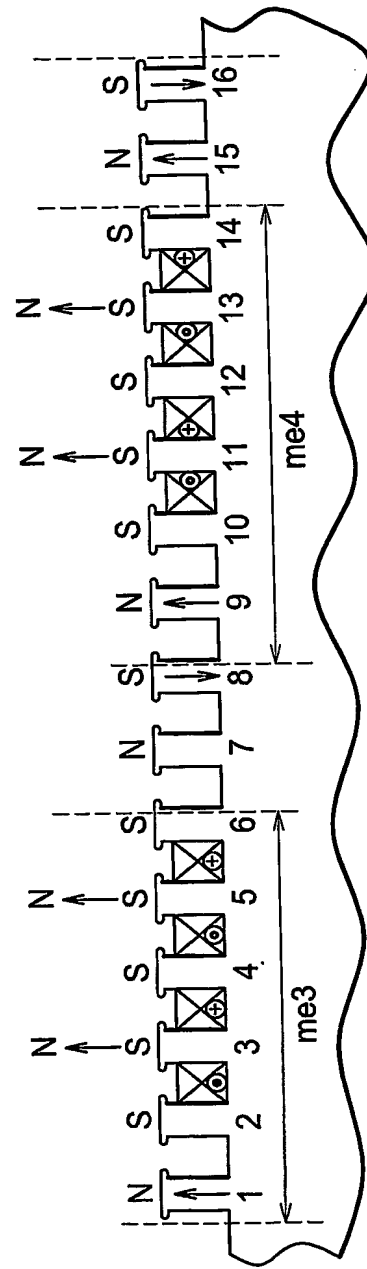


Fig. 5